心理科学进展　2020, Vol. 28, No. 12, 2008–2017
Advances in Psychological Science

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1042.2020.02008

人类性别加工的认知神经机制*

杨国春[1,2]　伍海燕[3,4]　齐　玥[5,6,1,2]　刘　勋[1,2]

([1]中国科学院行为科学重点实验室, 北京　100101) ([2]中国科学院大学心理学系, 北京　100049)
([3]澳门大学认知与脑科学研究中心) ([4]澳门大学心理系, 澳门　999078)
([5]中国人民大学心理学系) ([6]中国人民大学心理学系实验室, 北京　100872)

摘　要　性别信息是人类重要的生物和社会属性，对性别快速而准确的识别对人类的生存和繁衍具有重要意义。人类的性别加工具有自动化、刻板化以及不对称性等特点，并受性别加工主体、其他性别信息、社会类别信息以及高级认知调节的影响。聚焦于面孔和声音这两个性别信息的主要来源，综述了性别加工的行为和神经机制研究，并提出了两阶段性别加工模型，早期阶段为对性别信息物理属性的特异性加工，晚期阶段为对抽象性别信息的一般性加工。未来的研究可以重点关注性别加工的系统性研究、性别分类和机器学习、以及性别的二相性问题等方面。

关键词　性别加工，面孔，声音，神经机制

分类号　B842.1

性别是生物个体的一种基本属性。准确的性别知觉是个体间性互动的第一个关键步骤，是生存繁衍的前提条件(Zhou et al., 2014)。对人类而言，性别有生理性别(sex)与社会性别(gender)之分(Fausto-Sterling, 2000; Muehlenhard & Peterson, 2011)。生理性别是由染色体基因决定的先天特征，而社会性别则是由社会因素影响而确定的后天特征(Kelly, 2016)。生理性别是社会性别的基础，多数人的社会性别和生理性别是一致的。人类的性别加工既包含生理性别也包含社会性别的加工。

1　性别加工的特点

1.1　性别加工的自动化

一般来讲，性别加工可以在几乎没有注意参与的情况下自动地完成，对未知个体的性别分类已成为一种内化行为，尽管这种分类对当前的处境可能并无直接益处(Ellemers, 2018; Tomelleri & Castelli, 2012)。因此，性别信息是对人知觉(person perception)的主要特征之一(Ellemers, 2018)。有研究者采用字母判断和面孔性别判断双任务，发现和单独完成性别任务时相比面孔判断的准确性无差异，说明面孔判断属于自动化加工，不需要消耗注意资源(Reddy et al., 2004)。另一项研究要求7~12岁的儿童观看男女人物的图片，同时读出每个人物说的语句，并要求儿童通过回忆来匹配“谁说了什么”，结果发现他们容易将同性别的人物混淆，而对不同性别人物的匹配更准确，说明儿童在加工人物和语句时自动化地提取了性别分类信息(Bennett et al., 2000)。性别识别过程往往快速准确，有研究表明，对面孔的性别分类在130 ms内就发生了(Hugelschafer et al., 2016)。但是，当性别信息的载体比较抽象时，需要较长时间才能识别。例如，采用光点小人的性别判断任务，能够识别出性别的光点小人的呈现时间要在两个步态周期(约1.6秒)以上(Barclay et al., 1978)。

1.2　性别表征的刻板化

由于男女性天生遗传物质的不同以及后天社会角色的差异，导致了非常广泛的性别刻板印象(Ellemers, 2018)。例如，男性常常被认为是强势

收稿日期：2020-06-10
* 国家自然科学基金中德重大国际合作项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169)；中国科学院心理研究所青年人才科研启动经费(Y9CX172005)；中国科学院行为科学重点实验室经费资助(Y5CX052003)；北京市博士后科研活动经费(ZZ2019-25)。
通信作者：刘勋, E-mail: liux@psych.ac.cn

的、好胜的, 而女性被认为是温顺的、体贴的。尽管我们有时并不外显地承认这一点, 但内隐测验提示, 我们往往存在这种偏见(Drake et al., 2017)。这种刻板印象有时候表现为一种具身认知。例如, 一项研究发现, 对面孔性别的判断受到手握球体的硬度以及下笔用力程度的影响, 球体越软, 下笔越轻, 对面孔的判断越倾向于女性, 反之倾向于男性, 这反映了男性强壮、女性温柔的刻板印象(Slepian et al., 2011)。除此之外, 性别和空间位置(Zhang et al., 2014)、明度(Semin et al., 2018)等都存在类似的关联(如男性对应于高处, 女性对应于低处)。

1.3 性别加工的不对称性

性别信息本身的固有差异, 可能导致了性别加工的不对称性, 即相同个体对男女性别信息(如面孔信息)的识别效率和加工机制存在差别。一方面, 人们对男性和女性信息的识别效率存在一定差异, Cellerino 等人(2004)的研究发现对男女性面孔进行低像素化处理, 女性面孔在相对较高分辨率时就变成随机水平, 而男性面孔在很低分辨率时还在随机水平之上, 说明男性面孔信息更容易被识别。但是, 也有研究发现, 在面孔差异的判断任务中, 女性面孔的差异更容易分辨(Ino et al., 2010)。这些研究结果的不一致可能反映了男女性面孔在整体信息和局部信息加工上的差异。另一方面, 不同性别信息对应的加工机制可能存在特异性。例如, Su 等人(2013)发现, 对面孔性别的识别能力可以通过训练来提升, 但是性别信息的迁移性差, 训练女性面孔会促进对女性面孔的加工而对男性面孔没有促进作用, 反之亦然。除了固有特性引起的差异, 个体的经验也会导致性别加工的不对称性, 例如, 由于儿童与母亲的接触更多, 导致他们表现出对女性识别的优势(Rennels & Verba, 2019), 说明性别加工的不对称性和后天因素密切相关。

2 性别加工的影响因素

2.1 性别加工主体

对性别信息的加工, 受主体本身的性别以及性向的影响。一种观点认为, 人们对异性信息更加偏好, 也能够更好更快速地识别, 被称为异性偏差(opposite-sex bias)。例如, Junger 等人(2013)发现, 男性对女性声音的加工相比对男性声音的加工更快, 且男性对女性声音有更多的注意; 反之亦然。另一项研究发现了性向和性别加工的交互作用, 即异性恋男性和同性恋女性在丘脑和眶额叶等奖赏环路脑区对女性面孔的反应更强, 而异性恋女性和同性恋男性在相同脑区对男性面孔的反应更强(Kranz & Ishai, 2006); 在另一项采用声音刺激的脑电研究中发现异性偏差和奖赏加工相关的晚期正成分(late positive component, LPC)有关(Li et al., 2014)。当然, 也有一些研究发现了同性偏差(same-sex bias)现象。例如, 一项研究采用再认记忆任务, 发现无论是男性还是女性都对和他们相同性别的面孔记得更准确, 且这种同性信息的加工优势主要和早期学习阶段相关的 P2 和 N200 成分有关(Wolff et al., 2014)。有意思的是, 近期的研究比较了变性人和对照组被试的声音性别加工模式, 发现变性人在脑岛等脑区的神经响应更接近其心理认同的性别对照组, 而与其生理性别一致的对照组差异较大(E. Smith et al., 2018)。异性偏差很可能与人类的繁衍本能息息相关(Proverbio et al., 2010), 而同性偏差可能反映了群组内和群组间的差异(Wolff et al., 2014)。除了性别和性向等特质性因素, 主体的生理状态也影响性别加工过程, 例如激素水平。在一项研究中, 要求女性对面孔图片的性别进行快速分类, 发现相比低受孕风险期(月经周期前 3 天), 在高受孕风险期(排卵期及其后两天)做出面孔分类要更快, 而排卵期是雌激素水平最高的时期, 说明雌性激素的水平影响对性别的加工(Macrae et al., 2002)。

2.2 其他性别信息

由于性别的信息来源丰富多样, 因此任何可获得的其他维度的性别信息都可以影响性别加工。例如, 一项研究发现了躯体-面孔的性别适应现象, 即先观看躯体图片再观看面孔图片, 会导致对面孔的性别加工偏向与躯体相反的性别, 提示了躯体在性别表征中的作用(Ghuman et al., 2010)。更多的研究发现, 来自不同通道的性别信息可以相互影响, 即使其他通道携带的性别信息是任务无关的。比如, E. L. Smith 等人(2007)发现, 要求对于模糊性别(即介于男女性之间的中性)的面孔进行性别判断, 同时听到一个声音, 如果声音的频率与男性声音接近(比如 100 Hz), 那么对面孔的判断也倾向于男性, 如果声音频率更接近女性(比如 255 Hz), 则对面孔的性别判断偏向女

性。这说明面孔的性别表征受到了听觉信息的影响，视、听觉性别信息发生了跨通道整合。相比单纯的视觉或听觉通道的信息，视听双通道信息整合能够促进对面孔性别的鉴别能力，这种促进作用不仅体现在行为表现上，还体现在大脑对性别信息的表征强度上(Li et al., 2015)。而且，面孔和声音的整合会增加梭状回面孔区和颞叶语音区的有效连接(Abbatecola et al., 2020)。

嗅觉通道的性别相关信息对视觉性别加工的调节作用也受到了研究者的关注。例如，人体分泌的两种类固醇(雄甾二烯酮和雌甾四烯)可以通过嗅觉系统来影响性别信息加工，被称为“准人类性信息素” (叶玉婷 等, 2016)。一项研究考察了这两种类固醇对性别加工的调节作用，实验结果显示，闻取雄甾二烯酮使得异性恋女性和同性恋男性被试倾向于将光点小人的性别判断为男性，而对异性恋男性被试则不起作用；相反，闻取雌甾四烯使得异性恋男性被试倾向于将光点小人判断为女性，而对异性恋女性被试则不起作用(Zhou et al., 2014)。除此之外，触觉通道的信息，比如手握物体的硬度，也可以对性别加工产生一定的影响(详见 1.2 部分) (Slepian et al., 2011)。

2.3 社会类别信息

性别之外的其他类别属性(如种族、情绪等)与性别之间存在交互作用。采用不同种族、不同性别面孔的研究发现，黑人男性的面孔比亚洲男性面孔加工更快，亚洲女性面孔比黑人女性面孔加工更快(Johnson et al., 2012)。而关于情绪和性别的交互效应研究发现，对女性性别的判断在面孔表情为快乐时相比面孔表情为愤怒时更快也更准确；脑电结果显示，表情可以影响性别加工的N170、P1 和 LPC 等成分的幅值(Liu et al., 2017; Valdes-Conroy et al., 2014)。种族和情绪等社会属性看似与性别信息无关，但它们在概念知识加工上存在绑定关系，而且这种关系可以在眶额叶和梭状回进行编码(Stolier & Freeman, 2016)，因此这些社会信息可以和性别发生交互作用。

2.4 高级认知调节

以选择性注意为代表的高级认知过程也会对性别加工产生一定的调节作用。有研究发现，当目标面孔和非目标面孔的性别不一致时，激活的N170 幅值更高，但是当明确实验的意图，即要求被试只对目标面孔分配注意时，不一致条件的影响消失，这一结果表明，主观意图可以调控自动化的性别加工(Hugelschafer et al., 2016)。另一项研究发现，在注意语音的性别时，异性声音相比同性声音诱发了一个 LPC，但当注意非语音声音时，这种成分消失，说明注意对性别加工存在调节作用(Li et al., 2014)。

3 性别加工的认知神经机制

男女性别的差异体现在很多方面，因此性别加工的线索信息也多种多样。对人类而言，面孔是性别判断极为重要的信息参照，两性面孔无论在轮廓、大小以及色泽上都存在明显的差异。声音也是性别判断很重要的一个因素(Watson et al., 2013)，男性声音频率一般较女性声音低沉、粗犷，因此通过声音的频率也可以快速而高效地判断性别。如前所述，嗅觉信息，如信息素也可能是性别判断的重要参考(叶玉婷 等, 2016; Zhou et al., 2014)。除此之外，其他信息如身体的第二性征、身材、步态特征等都可以为性别识别提供重要线索(Pollick et al., 2005)。尽管不同感觉通道的性别信息都是性别判断的重要依据，但是性别的加工可能存在特定的通道优势。一般认为，视觉信息在不同通道的输入信息中处于优势地位，被称为视觉优势(visual dominance) (Posner et al., 1976)。在性别加工中，有研究者采用面孔短视频和声音作为材料，发现视觉对听觉的干扰效应要强于听觉对视觉的干扰效应，验证了这种观点(Huestegge & Raettig, 2020)。但是，另一项研究采用线性变换的不同性别的面孔和声音作为材料，发现听觉对视觉的干扰效应比视觉对听觉的干扰效应更强，则暗示了性别加工中听觉的优势地位(Watson et al., 2013)。尽管尚无定论，但较为明确的是，相比其他通道的信息，视觉和听觉通道是性别加工的主要来源。因此，对于性别加工的认知神经机制主要从面孔和声音两个方面来阐述。

3.1 面孔的性别加工机制

3.1.1 面孔的性别信息

面孔为性别信息提供了丰富的线索，比如，女性面孔比男性面孔的轮廓更平滑，鼻梁更小，眼睛更大，嘴唇更丰满等。为了解释面孔识别中复杂的认知加工过程，Bruce 和 Young (1986)提出了一种理论模型。这一模型假定存在多个独立的面孔加工通路，一个主要的通路是对具体人物的

识别，其他的平行通路来加工性别、种族、年龄等信息。关于面孔的性别加工模式，存在两种对立的理论。一种理论认为，利用面孔的部分特征(比如轮廓、眼睛、眉毛以及嘴巴等)就可以完成面孔的性别识别，因为只呈现部分信息时，对性别的判断也能有较高的准确率(Dupuis-Roy et al., 2009; Yamaguchi et al., 2013)。而另一种理论认为，面孔的整体信息对面孔性别判断具有关键作用。比如，有研究发现，将头像反转、碎片化以及错位会导致面孔的性别分类敏感度下降(Zhao & Hayward, 2010)；另有研究通过不同形式的掩蔽来直接控制对面孔的加工模式，发现在整体加工的时候对性别的判断更快，而且性别的线索效应和后效也只发生在整体加工的情况下，因此支持面孔性别的整体加工理论(Yokoyama et al., 2014)。有研究发现，面孔的超级辨别者相比普通人能更有效地利用这两种机制来判断面孔的属性(Belanova, 2017)。因此，基于部分特征或者整体特征的面孔性别识别可能并不是非此即彼的关系，而是两种不同的加工策略，能够在不同情境下发挥作用。

3.1.2　面孔性别加工的脑电研究

根据 Bruce 和 Young (1986)的理论模型，面孔的性别加工有赖于对面孔特征的结构编码，而枕叶的 N170 与面孔的结构编码密切相关(Bentin et al., 1996)，因此，N170 被认为是反映面孔性别加工的重要成分。有研究通过比较典型性别面孔和模糊性别面孔发现，N170 在观看典型性别面孔时波幅更大，而且其波幅能够预测性别判断的速度(Freeman et al., 2010)，说明 N170 参与了面孔的性别加工。而且，N170 很可能反映了自动化的性别提取过程，因为当面孔性别信息作为任务无关信息时，N170 的幅值也会受到性别一致性的影响(Tomelleri & Castelli, 2012)。还有证据表明，对性别识别的训练可以改变 N170 的潜伏期和幅值(Su et al., 2013)。但是，也有研究并未发现 N170 在性别加工中的作用(Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Yokoyama et al., 2014)。事实上，Mouchetant-Rostaing 等人(2003)和 Yokoyama 等人(2014)采用的考察性别效应的方法可能导致了对 N170 的不敏感。具体而言，前者比较了有意性别判断任务与非性别判断任务，两者间的差异可能只反映了非自动化(晚期)的性别加工过程；而后者比较了面孔性别一致性效应在两个不同面孔遮蔽条件下的差异，可能无法很好地反映初级的性别加工过程。因此，N170 是否参与面孔性别的初级加工，仍然值得深入的探究。

除了 N170，不少研究报告了其他的性别加工成分。较早的脑电研究通过比较性别分类任务和非性别分类任务，发现性别加工的特异性成分为额中央区的正成分，潜伏期为 145~185 ms；而在 200~250 ms 在颞叶出现了与性别加工相关但不具有性别特异性的成分(Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Mouchetant-Rostaing et al., 2000)。另一些研究则对比了男性和女性面孔的加工，发现在前中央区的 N200 成分(约 200 ms 开始)出现了男女面孔加工的分离(Ito & Urland, 2003; Zhang et al., 2018)。另有研究利用性别冲突任务，发现相反性别的启动面孔对目标面孔的影响发生在枕叶的 P2 成分(200~285 ms) (Yokoyama et al., 2014)和中央区的 P300 成分(250~580 ms) (Tomelleri & Castelli, 2012)。

3.1.3　面孔性别加工的 fMRI 研究

由于面孔的性别判断可以基于面孔的不同特征，因此对面孔的性别加工也有广泛的大脑参与(吴彬星 等, 2014; Ishai, 2015)。例如，Kaul, Rees 和 Ishai (2011)发现，面孔加工的核心脑区(如梭状回、枕下叶、颞上回等)和非面孔加工脑区(如脑岛、额下回、眶额回等)都包含性别的分类信息，这些脑区的表征模式可以区分男性和女性面孔。然而，上述研究中的面孔素材可能混淆了面孔的背景信息，在控制了混淆因素之后，另一项研究发现，面孔加工相关的脑区中只有梭状回面孔区包含性别特异性信息(Contreras et al., 2013)。面孔的性别加工很可能存在不同的阶段，面孔加工区可能只参与了初级的加工，非面孔加工区可能参与了高级加工。有一项研究为此提供了证据，研究者将典型的男、女性面孔线性变换成不同男/女性程度的面孔，发现人们对这些面孔性别的主观表征并非遵循客观的线性变化，而是非线性的，fMRI 的分析结果发现性别的线性差异在梭状回进行表征，而非线性差异则在眶额叶进行表征，这说明梭状回参与了初级的结构编码，而眶额叶参与了高级的主观表征(Freeman et al., 2010)。

3.2　声音的性别加工机制

3.2.1　声音的性别信息

和视觉信息一样，听觉信息在不同性别之间

也有较大差异，因此，通过声音就可以轻松而准确地判断性别，即使是非言语性的发声，比如笑声或哭泣(Pernet & Belin, 2012)。对声音性别的区分主要利用了基音和共振峰、声门功能和频谱的包络等信息(Hillenbrand & Clark, 2009)。依赖助听器的人可能由于助听器的基音和共振峰的传导功能不好而导致性别识别能力下降(Fuller et al., 2014)。一般认为，声音性别最重要的是基音频率的不同，男性声音在 100~200 Hz (均值约为 120 Hz)之间，女性的在 120~350 Hz (均值约为 210 Hz)，两者之间相差一个八度音高(Simpson, 2009; Titze & Martin, 1998)。但也有研究发现，利用第二共振峰比基音能更好地识别性别(Childers & Wu, 1991)。除了频率之外，有研究认为音色是判断性别更重要的因素，而只有在音色难以区分的时候，才会根据频率来区分(Pernet & Belin, 2012; Pernet et al., 2013)。

3.2.2 声音性别加工的脑电研究

一项研究采用性别适应范式考察了声音性别加工的机制，发现语音性别的编码与早期的 N1 成分以及晚期的 P2 成分有关，这些成分的幅值受到前一个同性别适应刺激的影响而降低，作者指出，N1 成分反映了声音的物理属性，而 P2 成分反映了声音的高级知觉加工(Zaske et al., 2009)。对于这两个脑电成分的功能更直接的证据来自 Latinus 和 Taylor (2012)的工作，他们直接对比了男女性声音，发现 N1 和 P2 都对性别的差异敏感，N1 的幅值在听男性声音时更负，但当控制了音高因素后这种差异消失，说明 N1 主要编码音高/频率的加工；而无论是否控制音高的差异，P2 的幅值在听女性声音时都更高，说明 P2 是更高级的性别加工过程。除了 N1 和 P2 成分，Zaske 等人(2009)也发现了 P3 成分的参与，但认为 P3 与反应阶段的不确定性有关，而非性别本身的加工。

3.2.3 声音性别加工的 fMRI 研究

关于声音性别加工最早的 fMRI 研究是 Lattner 等人(2005)的工作，他们对比了不同性别的声音，发现女性声音比男性声音更多地激活了上颞平面、后侧颞上回等区域，但未发现男性声音激活更强的脑区；通过增设男性高频和女性低频两种条件，区分了频率和共振峰在性别加工中各自的作用，结果显示，编码频率的脑区为中部颞上回，而编码共振峰的脑区为后部颞上回和顶平面。另一项研究同样对比了男性和女性的声音，发现女性声音更多激活了右侧前颞上回，而男性声音则更多地激活了右侧的楔前叶(Sokhi et al., 2005)。有研究者指出，这种对男性和女性做差异分析的方法忽略了可能同时表征男性和女性声音的脑区(Charest et al., 2013)。基于此，Charest 等人(2013)将男女性声音线性变换为不同性别水平的声音刺激，考察了与这些声音的物理属性及其主观表征存在参数调节关系的脑区，发现声音的性别加工包含两个水平，初级水平的加工与声音的物理属性相关，关键脑区为前部颞上沟，高级水平加工与性别的后期表征有关，关键脑区为前扣带回、额下回和脑岛。特别地，Weston 等人(2015)关注了利用音色来判断性别的机制，他们控制了音高等因素，发现个体之所以能够通过音色来判断性别，与女性声音比男性声音在颞上沟有更多的激活有关。

3.3 两阶段的性别加工模型

面孔和声音的加工在很多方面存在相似性(Yovel & Belin, 2013)。性别加工也是如此。面孔的结构编码理论认为，面孔的加工需要先进行结构编码，再进行性别等信息的加工(Bruce & Young, 1986)，而这一理论被认为也适用于声音的性别加工(Belin et al., 2011)。综合前人的研究，我们认为，视、听觉性别信息都存在类似的由初级到高级的加工机制。面孔性别信息的初级加工主要在梭状回面孔区(Contreras et al., 2013; Freeman et al., 2010)，对应的脑电成分主要是 N170 (Bentin et al., 1996; Freeman et al., 2010)；而声音的初级性别加工主要在颞上沟(Charest et al., 2013; Weston et al., 2015)，对应的关键脑电成分为 N1 (Latinus & Taylor, 2012; Zaske et al., 2009)。面孔性别信息的高级加工主要在脑岛、额下回、眶额回等脑区(Kaul et al., 2011)，关键的脑电成分为 P300 (Tomelleri & Castelli, 2012)；而声音性别信息的高级加工脑区主要为前扣带回、额下回和脑岛等脑区(Charest et al., 2013)，关键脑电成分为 P2 (Latinus & Taylor, 2012; Zaske et al., 2009)。尽管具体参与加工的脑区和脑电成分并不完全相同，但视、听觉的性别表征在两阶段的加工模式上存在高度的一致性。而且，两者的高级加工存在一些共同的脑区(如脑岛和额下回等)，说明性别表征可能遵循着从初级的通道特异性到高级的通道一般性的过程，与其他心理过程类似(Frost

et al., 2015)。相比初级加工的结构编码, 高级加工可能是一种语义表征, 因此两种通道的性别信息能够发生跨通道整合或冲突(E. L. Smith et al., 2007; Yang et al., 2020)。

4　展望

研究者们在人类性别加工这一问题上已经取得了很多重要的进展, 包括性别加工的特点、神经机制以及影响因素等。对性别加工机制的研究与对性别差异的研究相辅相成, 为指导人类建立和谐的社会关系提供了理论基础, 也有助于理解人类的繁衍和进化机制。未来的研究可以在此基础上进行拓展, 重点关注以下几个方面。

4.1　性别加工的系统性研究

关于性别加工的理解, 目前还没有一个系统的理论框架。一方面, 可能是因为性别加工的机制问题还未引起足够的重视, 研究者对性别加工的研究通常是与种族、年龄等信息的研究平行的(Contreras et al., 2013; Wiese et al., 2012), 但对人类而言, 性别本身的重要性要超过其他维度的个体信息。另一方面, 性别加工的研究方法各不相同, 难以进行有效的整合。例如, 对于如何测量性别效应, 存在很多方法上的差异, 可归纳为: 男性和女性刺激的差异(Ino et al., 2010; Zhang et al., 2018); 典型性别和模糊性别的差异(Freeman et al., 2010)、性别任务和非性别任务的差异(Wiese et al., 2012); 性别信息带来的效应, 如冲突效应(Yokoyama et al., 2014)、重复抑制(Podrebarac et al., 2013)、性别后效(Ng et al., 2006)等等。未来的研究需要系统性地比较和整合这些不同的方法, 进而对性别加工有更深入的认识。

4.2　性别分类和机器学习

性别的智能分类近年来在越来越多的场景中得到重视, 例如人机交互、安全监控以及个性化服务等方面, 因此提高性别分类的有效性成为一个重要议题(Singh et al., 2013)。机器学习可以利用较为复杂的数据对性别进行分类, 在这方面优于人类的生物性加工。例如, 机器学习算法可以研究不同性别的作者编辑的文本信息, 采用的虚词以及用词和结构的特征都能成为性别判断的重要依据(Cheng et al., 2011)。但是, 目前机器学习对性别的识别分类还存在一些问题, 比如受训练数据质量的影响很大(Xu et al., 2016)。而人类对性别的生物性识别效率极高, 对其加工机制的深入理解无疑会对计算机性别分类的改善起到指导作用。当然, 对性别分类的机器学习模型研究也可以为理解人类性别加工机制提供有力的认知证据。例如, Minot 等人(2017)通过非监督学习模型, 发现识别男性或女性面孔的神经元在输出层出现了聚集, 提示在人脑中也可能存在类似的性别特异性神经元集群, 验证了用人类被试研究的结果(Podrebarac et al., 2013)。未来的研究可以充分结合人类和计算机的性别识别原理, 更好地服务于人类的社会需求。

4.3　性别的二相性问题

性别一般被简单地二分为男性和女性两种, 被称为性别的二相性(gender binary)。但是, 这种分类在近年来颇受争议, 因为现实中越来越多地发现了其他的性别形式, 比如雌雄间性(intersex)在人群中占比约为 1%~2% (Lee et al., 2016), 是否将其纳入到人群的划分, 已成为一个社会性问题。许多研究从神经科学、行为神经内分泌学、心理学等不同方面发现了普遍存在的个体内性别嵌套(gender mosaic)现象(如男性个体具有女性的特征), 说明性别特征并不是完全二分互斥的(见综述 Hyde et al., 2019)。而且, 越来越多的研究者将性别描述成一种连续的变量, 即男性化(masculinity)或女性化(femininity)的倾向(Gilani et al., 2014; Kozlowski, 2015)。从采用线性变换的连续性刺激得到的行为结果(一条中间陡峭, 两侧平缓的 Sigmoid 曲线(Charest et al., 2013; Freeman et al., 2010; Zhou et al., 2014))来看, 人们的性别加工仍然是趋向于二元化的, 但存在一定的连续性变化。相比简单的二相分类, 利用连续性的方法来探究精细的性别知觉, 可能有利于揭示更深层次的性别加工机制, 值得进一步研究。

参考文献

吴彬星, 张智君, 孙雨生. (2014). 面孔知觉中面孔性别与情绪表情的相互作用. *心理科学进展*, *22*, 943–952. https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2014.00943

叶玉婷, 陈科璞, 周雯. (2016). 信息素影响人类行为吗? . *科学通报*, *61*, 1389–1394. https://doi.org/10.1360/N972015-01287

Abbatecola, C., Beneyton, K., Gerardin, P., Kennedy, H., & Knoblauch, K. (2020). Voice and face gender perception engages multimodal integration via multiple feedback

pathways. *bioRxiv*. https://doi.org/10.1101/2020.01.07.884668

Barclay, C. D., Cutting, J. E., & Kozlowski, L. T. (1978). Temporal and spatial factors in gait perception that influence gender recognition. *Perception and Psychophysics*, *23*(2), 145–152. https://doi.org/10.3758/bf03208295

Belanova, E. (2017). *A neuroscientific and cognitive examination of individual differences in face recognition ability* (Unpublished doctoral dissertation). University of Greenwich. London.

Belin, P., Bestelmeyer, P. E. G., Latinus, M., & Watson, R. (2011). Understanding voice perception. *British Journal of Psychology*, *102*(4), 711–725. https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2011.02041.x

Bennett, M., Sani, F., Hopkins, N., Agostini, L., & Malucchi, L. (2000). Children's gender categorization: An investigation of automatic processing. *British Journal of Developmental Psychology*, *18*(1), 97–102. https://doi.org/Doi 10.1348/026151000165599

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*(6), 551–565. https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.6.551

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, *77 (Pt 3)* (77), 305–327. https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x

Cellerino, A., Borghetti, D., & Sartucci, F. (2004). Sex differences in face gender recognition in humans. *Brain Research Bulletin*, *63*(6), 443–449. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.03.010

Charest, I., Pernet, C., Latinus, M., Crabbe, F., & Belin, P. (2013). Cerebral processing of voice gender studied using a continuous carryover FMRI design. *Cerebral Cortex*, *23*(4), 958–966. https://doi.org/10.1093/cercor/bhs090

Cheng, N., Chandramouli, R., & Subbalakshmi, K. P. (2011). Author gender identification from text. *Digital Investigation*, *8*(1), 78–88. https://doi.org/10.1016/j.diin.2011.04.002

Childers, D. G., & Wu, K. (1991). Gender recognition from speech. Part II: Fine analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*, *90*(4 Pt 1), 1841–1856. https://doi.org/10.1121/1.401664

Contreras, J. M., Banaji, M. R., & Mitchell, J. P. (2013). Multivoxel patterns in fusiform face area differentiate faces by sex and race. *PloS One*, *8*(7), e69684. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069684

Drake, C. E., Primeaux, S., & Thomas, J. (2017). Comparing implicit gender stereotypes between women and men with the implicit relational assessment procedure. *Gender Issues*, *35*(1), 3–20. https://doi.org/10.1007/s12147-017-9189-6

Dupuis-Roy, N., Fortin, I., Fiset, D., & Gosselin, F. (2009). Uncovering gender discrimination cues in a realistic setting. *Journal of Vision*, *9*(2), 1–8. https://doi.org/10.1167/9.2.10

Ellemers, N. (2018). Gender stereotypes. *Annual Review of Psychology*, *69*, 275–298. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011719

Fausto-Sterling, A. (Ed.). (2000). *Sexing the body: Gender politics and the construction of sexuality*. Basic Books.

Freeman, J. B., Ambady, N., & Holcomb, P. J. (2010). The face-sensitive N170 encodes social category information. *Neuroreport*, *21*(1), 24–28. https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3283320d54

Frost, R., Armstrong, B. C., Siegelman, N., & Christiansen, M. H. (2015). Domain generality versus modality specificity: The paradox of statistical learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *19*(3), 117–125. https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.12.010

Fuller, C. D., Gaudrain, E., Clarke, J. N., Galvin, J. J., Fu, Q.-J., Free, R. H., & Baskent, D. (2014). Gender categorization is abnormal in cochlear implant users. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, *15*(6), 1037–1048. https://doi.org/10.1007/s10162-014-0483-7

Ghuman, A. S., McDaniel, J. R., & Martin, A. (2010). Face adaptation without a face. *Current Biology*, *20*(1), 32–36. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.10.077

Gilani, S. Z., Rooney, K., Shafait, F., Walters, M., & Mian, A. (2014). Geometric facial gender scoring: Objectivity of perception. *PloS One*, *9*(6), e99483. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099483

Hillenbrand, J. M., & Clark, M. J. (2009). The role of f (0) and formant frequencies in distinguishing the voices of men and women. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *71*(5), 1150–1166. https://doi.org/10.3758/APP.71.5.1150

Huestegge, S. M., & Raettig, T. (2020). Crossing gender borders: Bidirectional dynamic interaction between face-based and voice-based gender categorization. *Journal of Voice*, *34*(3), 487.e1–487.e9. https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.09.020

Hugelschafer, S., Jaudas, A., & Achtziger, A. (2016). Detecting gender before you know it: How implementation intentions control early gender categorization. *Brain Research*, *1649*(Pt A), 9–22. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.08.026

Hyde, J. S., Bigler, R. S., Joel, D., Tate, C. C., & van Anders, S. M. (2019). The future of sex and gender in psychology: Five challenges to the gender binary. *American Psychologist*, *74*(2), 171–193. https://doi.org/10.1037/amp0000307

Ino, T., Nakai, R., Azuma, T., Kimura, T., & Fukuyama, H. (2010). Gender differences in brain activation during encoding and recognition of male and female faces. *Brain Imaging and Behavior*, *4*(1), 55–67. https://doi.org/10.1007/

s11682-009-9085-0

Ishai, A. (2015). Seeing faces in the brain. In J. O. Lauring (Ed.), *An Introduction to Neuroaesthetics: The Neuroscientific Approach to Aesthetic Experience, Artistic Creativity, and Arts Appreciation* (pp. 163–183). Museum Tusculanum Press.

Ito, T. A., & Urland, G. R. (2003). Race and gender on the brain: Electrocortical measures of attention to the race and gender of multiply categorizable individuals. *Journal of Personality and Social Psychology*, *85*(4), 616–626. https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.4.616

Johnson, K. L., Freeman, J. B., & Pauker, K. (2012). Race is gendered: How covarying phenotypes and stereotypes bias sex categorization. *Journal of Personality and Social Psychology*, *102*(1), 116–131. https://doi.org/10.1037/a0025335

Junger, J., Pauly, K., Brohr, S., Birkholz, P., Neuschaefer-Rube, C., Kohler, C., … Habel, U. (2013). Sex matters: Neural correlates of voice gender perception. *NeuroImage*, *79*, 275–287. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.105

Kaul, C., Rees, G., & Ishai, A. (2011). The gender of face stimuli is represented in multiple regions in the human brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 238. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00238

Kelly, M. (2016). Sex versus gender categorization. In A. Wong, M. Wickramasinghe, r. hoogland, N. A. Naples (Eds.), *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Gender and Sexuality Studies* (pp. 1–3). Wiley Online Library. https://doi.org/10.1002/9781118663219.wbegss028

Kozlowski, D. (2015). *The interplay between self-perceived gender and the perception of the gender of others: an examination of exogenous and endogenous factors contributing to judgements of sex and gender* (Unpublished doctorial dissertation). Southern Cross University. Lismore, NSW.

Kranz, F., & Ishai, A. (2006). Face perception is modulated by sexual preference. *Current Biology*, *16*(1), 63–68. https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.10.070

Latinus, M., & Taylor, M. J. (2012). Discriminating male and female voices: Differentiating pitch and gender. *Brain Topography*, *25*(2), 194–204. https://doi.org/10.1007/s10548-011-0207-9

Lattner, S., Meyer, M. E., & Friederici, A. D. (2005). Voice perception: Sex, pitch, and the right hemisphere. *Human Brain Mapping*, *24*(1), 11–20. https://doi.org/10.1002/hbm.20065

Lee, P. A., Nordenstrom, A., Houk, C. P., Ahmed, S. F., Auchus, R., Baratz, A., … Global, D. S. D. U. C. (2016). Global disorders of sex development update since 2006: Perceptions, approach and care. *Hormone Research in Paediatrics*, *85*(3), 158–180. https://doi.org/10.1159/000442975

Li, Y., Gu, F., Zhang, X. L., Yang, L. Z., Chen, L. J., Wei, Z. D., … Zhang, X. C. (2014). Cerebral activity to opposite-sex voices reflected by event-related potentials. *PloS One*, *9*(4), e94976. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094976

Li, Y., Long, J., Huang, B., Yu, T., Wu, W., Liu, Y., Liang, C., & Sun, P. (2015). Crossmodal integration enhances neural representation of task-relevant features in audiovisual face perception. *Cerebral Cortex*, *25*(2), 384–395. https://doi.org/10.1093/cercor/bht228

Liu, C. W., Liu, Y., Iqbal, Z., Li, W. H., Lv, B., & Jiang, Z. Q. (2017). Symmetrical and asymmetrical interactions between facial expressions and gender information in face perception. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1383. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01383

Macrae, C. N., Alnwick, K. A., Milne, A. B., & Schloerscheidt, A. M. (2002). Person perception across the menstrual cycle: Hormonal influences on social-cognitive functioning. *Psychological Science*, *13*(6), 532–536. https://doi.org/10.1111/1467-9280.00493

Minot, T., Dury, H. L., Eguchi, A., Humphreys, G. W., & Stringer, S. M. (2017). The neural representation of the gender of faces in the primate visual system: A computer modeling study. *Psychological Review*, *124*(2), 154–167. https://doi.org/10.1037/rev0000049

Mouchetant-Rostaing, Y., & Giard, M. H. (2003). Electrophysiological correlates of age and gender perception on human faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(6), 900–910. https://doi.org/10.1162/ 089892903322370816

Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E., & Pernier, J. (2000). Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *European Journal of Neuroscience*, *12*(1), 303–310. https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2000.00888.x

Muehlenhard, C. L., & Peterson, Z. D. (2011). Distinguishing between sex and gender: History, current conceptualizations, and implications. *Sex Roles*, *64*(11-12), 791–803. https://doi.org/10.1007/s11199-011-9932-5

Ng, M., Ciaramitaro, V. M., Anstis, S., Boynton, G. M., & Fine, I. (2006). Selectivity for the configural cues that identify the gender, ethnicity, and identity of faces in human cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(51), 19552–19557. https://doi.org/10.1073/pnas.0605358104

Pernet, C. R., & Belin, P. (2012). The role of pitch and timbre in voice gender categorization. *Frontiers in Psychology*, *3*, 23. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00023

Pernet, C. R., Belin, P., & Jones, A. (2013). Behavioral evidence of a dissociation between voice gender categorization and phoneme categorization using auditory morphed stimuli. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1018.

https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.01018

Podrebarac, S. K., Goodale, M. A., van der Zwan, R., & Snow, J. C. (2013). Gender-selective neural populations: Evidence from event-related fMRI repetition suppression. *Experimental Brain Research*, *226*(2), 241–252. https://doi.org/10.1007/s00221-013-3429-0

Pollick, F. E., Kay, J. W., Heim, K., & Stringer, R. (2005). Gender recognition from point-light walkers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(6), 1247–1265. https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.6.1247

Posner, M. I., Nissen, M. J., & Klein, R. M. (1976). Visual dominance: An information-processing account of its origins and significance. *Psychological Review*, *83*(2), 157–171. https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.2.157

Proverbio, A. M., Riva, F., Martin, E., & Zani, A. (2010). Neural markers of opposite-sex bias in face processing. *Frontiers in Psychology*, *1*, 169. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00169

Reddy, L., Wilken, P., & Koch, C. (2004). Face-gender discrimination is possible in the near-absence of attention. *Journal of Vision*, *4*(2), 106–117. https://doi.org/10.1167/4.2.4

Rennels, J. L., & Verba, S. A. (2019). Gender typicality of faces affects children's categorization and judgments of women more than of men. *Sex Roles*, *81*(5-6), 355–369. https://doi.org/10.1007/s11199-018-0997-2

Semin, G. R., Palma, T., Acarturk, C., & Dziuba, A. (2018). Gender is not simply a matter of black and white, or is it? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *373*(1752). https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0126

Simpson, A. P. (2009). Phonetic differences between male and female speech. *Language and Linguistics Compass*, *3*(2), 621–640. https://doi.org/10.1111/j.1749-818X.2009.00125.x

Singh, O., Bommagani, G., Ravula, S. R., & Gunjan, V. K. (2013). Pattern based gender classification. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, *3*(10), 888–895. https://doi.org/10.13140/2.1.2420.9604

Slepian, M. L., Weisbuch, M., Rule, N. O., & Ambady, N. (2011). Tough and tender: Embodied categorization of gender. *Psychological Science*, *22*(1), 26–28. https://doi.org/10.1177/0956797610390388

Smith, E., Junger, J., Pauly, K., Kellermann, T., Neulen, J., Neuschaefer-Rube, C., … Habel, U. (2018). Gender incongruence and the brain - behavioral and neural correlates of voice gender perception in transgender people. *Hormones and Behavior*, *105*, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2018.07.001

Smith, E. L., Grabowecky, M., & Suzuki, S. (2007). Auditory-visual crossmodal integration in perception of face gender. *Current Biology*, *17*(19), 1680–1685. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.08.043

Sokhi, D. S., Hunter, M. D., Wilkinson, I. D., & Woodruff, P. W. (2005). Male and female voices activate distinct regions in the male brain. *NeuroImage*, *27*(3), 572–578. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.04.023

Stolier, R. M., & Freeman, J. B. (2016). Neural pattern similarity reveals the inherent intersection of social categories. *Nature Neuroscience*, *19*(6), 795–797. https://doi.org/10.1038/nn.4296

Su, J. Z., Tan, Q. L., & Fang, F. (2013). Neural correlates of face gender discrimination learning. *Experimental Brain Research*, *225*(4), 569–578. https://doi.org/10.1007/s00221-012-3396-x

Titze, I. R., & Martin, D. W. (Eds.). (1998). *Principles of voice production*. Acoustical Society of America.

Tomelleri, S., & Castelli, L. (2012). On the nature of gender categorization pervasive but flexible. *Social Psychology*, *43*(1), 14–27. https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000076

Valdes-Conroy, B., Aguado, L., Fernandez-Cahill, M., Romero-Ferreiro, V., & Dieguez-Risco, T. (2014). Following the time course of face gender and expression processing: A task-dependent ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, *92*(2), 59–66. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.02.005

Watson, R., Charest, I., Rouger, J., Casper, C., Latinus, M., & Belin, P. (2013). Audiovisual integration of face–voice gender studied using "morphed videos". In P. Belin, S. Campanella, T. Ethofer (Eds.), *Integrating Face and Voice in Person Perception* (pp. 135–148). Springer.

Weston, P. S. J., Hunter, M. D., Sokhi, D. S., Wilkinson, I. D., & Woodruff, P. W. (2015). Discrimination of voice gender in the human auditory cortex. *NeuroImage*, *105*, 208–214. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.10.056

Wiese, H., Kloth, N., Gullmar, D., Reichenbach, J. R., & Schweinberger, S. R. (2012). Perceiving age and gender in unfamiliar faces: An fMRI study on face categorization. *Brain and Cognition*, *78*(2), 163–168. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.10.012

Wu, N., Kemter, K., Schweinberger, S. R., & Wiese, H. (2014). What drives social in-group biases in face recognition memory? ERP evidence from the own-gender bias. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(5), 580–590. https://doi.org/10.1093/scan/nst024

Xu, W., Zhuang, Y., Long, X., Wu, Y., & Lin, F. (2016). Human gender classification: a review. *International Journal of Biometrics*, *8*(3/4), 1–22. https://doi.org/10.1504/ijbm.2016.10003589

Yamaguchi, M. K., Hirukawa, T., & Kanazawa, S. (2013).

Judgment of gender through facial parts. *Perception*, *42*(11), 1253–1265. https://doi.org/10.1068/p240563n

Yang, G. C., Li, Z. H., Fu, D., Xu, H., Wu, H. Y., & Liu, X. (2020). Independent multisensory integration and crossmodal attention processing. *OSF Preprints*. https://doi.org/10.31219/osf.io/p9x2c

Yokoyama, T., Noguchi, Y., Tachibana, R., Mukaida, S., & Kita, S. (2014). A critical role of holistic processing in face gender perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 477. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00477

Yovel, G., & Belin, P. (2013). A unified coding strategy for processing faces and voices. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(6), 263–271. https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.04.004

Zaske, R., Schweinberger, S. R., Kaufmann, J. M., & Kawahara, H. (2009). In the ear of the beholder: Neural correlates of adaptation to voice gender. *European Journal of Neuroscience*, *30*(3), 527–534. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06839.x

Zhang, X. B., Li, Q., Eskine, K. J., Zuo, B., & Allen, P. (2014). Perceptual simulation in gender categorization: Associations between gender, vertical height, and spatial size. *PloS One*, *9*(2), e89768. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089768

Zhang, X. B., Li, Q., Sun, S., & Zuo, B. (2018). The time course from gender categorization to gender-stereotype activation. *Social Neuroscience*, *13*(1), 52–60. https://doi.org/10.1080/17470919.2016.1251965

Zhao, M., & Hayward, W. G. (2010). Holistic processing underlies gender judgments of faces. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(3), 591–596. https://doi.org/10.3758/APP.72.3.591

Zhou, W., Yang, X. Y., Chen, K., Cai, P., He, S., & Jiang, Y. (2014). Chemosensory communication of gender through two human steroids in a sexually dimorphic manner. *Current Biology*, *24*(10), 1091–1095. https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.035

Cognitive and neural mechanisms of human gender processing

YANG Guochun[1,2], WU Haiyan[3,4], QI Yue[5,6,1,2], LIU Xun[1,2]

([1] *CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Beijing* 100101, *China*)

([2] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

([3] *Center for Cognition and Brain Sciences, University of Macau, Macau* 999078, *China*)

([4] *Department of Psychology, University of Macau, Macau* 999078, *China*)

([5] *The Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

([6] *The Laboratory of the Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

Abstract: Gender information is an important biological and social attribute of human beings. Rapid and accurate gender identification is of great significance to our survival and reproduction. Human gender processing is characterized by automation, stereotyping and asymmetry. It is influenced by gender processing subjects, other gender information, social category information, and higher-level cognitive regulation. Focusing on two main sources of gender information, namely faces and voices, research on the behavioral and neural mechanisms of gender processing were reviewed. In addition, a two-stage gender processing model was proposed, in which the early stage relates to a specific processing of the physical features aspect of gender information, and the later stage is a general processing of abstract gender information. Future research may focus on aspects of the systematic study of gender processing, gender classification and machine learning, and gender dimorphism, among others.

Key words: gender processing, face, voice, neural mechanism